

MT法によるコンクリート壁の初期ひび割れ判別の検討

徳島大学大学院 学生会員 ○江淵颯真 徳島大学大学院 賛助会員 田中弘晃
徳島大学大学院 正会員 渡辺健 徳島大学大学院 正会員 滑川達

1. 目的

山口県ではコンクリート構造物の品質確保を対象とした取り組みが進められており、コンクリート構造物品質確保ガイドの発行や講習会の実施、コンクリート施工記録データベースの整備・運用など多岐にわたる活動が行われている¹⁾。コンクリートの初期品質はコンクリート構造物の長期的な耐久性に影響を及ぼすため、初期ひび割れ防止に効果的なコンクリート材料や施工の因子を見つけること、材料や構造諸元からの初期ひび割れリスクの推定といったひび割れの予測が望まれており、機械学習による予測が試みられている²⁾。

本研究の目的は、機械学習のようにサンプルを集めパラメーターを設定し解析を行うが、必要なサンプル数が比較的少なく簡易的に解析が行えるMTシステムの一つであり判別に適正があるMT法が適用できるか検討を行った。また、ひび割れ発生の判別およびひび割れの抑制に効果的な因子について検討を行った。

2. 解析概要

今回は山口県が公開しているデータを使用する。山口県ではコンクリート構造物の初期ひび割れ抑制を対象として、2005年から実構造物での試行工事を開始し、2007年からひび割れ抑制システムの運用を開始した。2014年からその目的を品質確保に拡張し、現在に至っている。このシステムにおいては、構造物の施工記録はデータベースとして公開されており、施工記録は所定のフォーマットに、構造物の情報、コンクリートの施工に関する情報、部材中のコンクリート温度の履歴、ひび割れ発生状況等が記録されている。本研究では、データが多くパラメーター情報が多く揃っているたて壁を解析対象とした。

MT法とは、図-1のように、多くの正常なサンプルから判断の基準となる単位空間と、正常と異常の境目となる値のしきい値を設定し、評価空間のサンプルがそこからどれだけ離れているかを表すマハラノビスの距離がしきい値を超えるかどうかによって、対象となるサンプルの健全度を定量的に判別するという手法である。³⁾

山口県のデータベース上から、リフト高[m]、厚さ[m]、幅[m]、鉄筋比[%]、試験強度[N/mm²]、打設温度[°C]、最高温度[°C]、最大ひび割れ幅[mm]、打ち継ぎ間隔[日]、単位セメント量[kg/m³]、打ち込み温度[°C]、外気温[°C]、スランプ[cm]、空気量[%]、養生期間[日]のパラメーターを有しているたて壁のサンプル231件を選定したサンプルを解析対象とした。

研究室内における先行研究では、単位空間をひび割れ幅0mmのサンプル全てで構成し解析した結果、マハラノビスの距離によるひび割れのあり・なしを判別できなかった。そこで、本研究では、この原因をひび割れ0mmのサンプル中からの単位空間の作成を次の[I][II]の観点で再構築した。[I]既往の研究⁴⁾から、ひび割れに関係するとされるパラメーターとして、L/H(=部材長さ/部材高さ)、温度上昇量(=最高温度-外気温)[°C]、温度上昇量/最高温度、最高温度-外気温[°C]を追加し、[II]パラメーターの統計情報とひび割れに関する既往の研究からサンプルを整理し単位空間を定義した。[II]について具体的に述べると、231件のサンプルのうちひび割れ幅0mmのサンプルから、絞り込む条件を $1.50 \leq L/H \leq 5.00$ かつ $1.50 \leq \text{鉄筋比} \leq 5.00$ かつ $0.5 \leq \text{温度上昇量}/\text{最高温度} \leq 0.8$ かつ $0 \leq \text{打ち継ぎ間隔} \leq 20$ とした結果、単位空間のサンプル22件、評価空間のサンプル209件となった。

マハラノビスの距離による判別のしきい値は4とし、複数のパラメーターの組み合わせパターンにおいてMT法を用いて解析を行った。

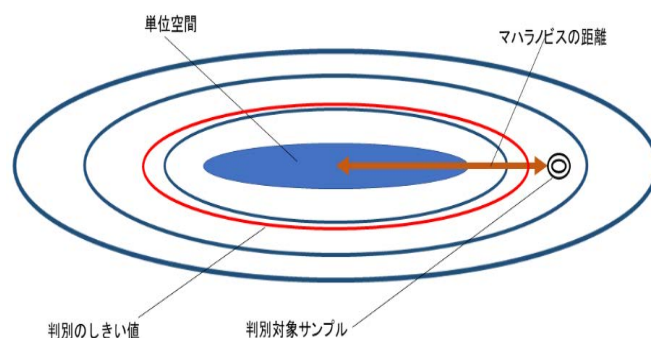


図-1 MT法の概要図²⁾

3. 解析結果

最も精度が良いパターンは、①厚さ、②打ち継ぎ間隔、③単位セメント量、④スランプ、⑤空気量、⑥養生期間、⑦L/H、⑧最高温度-外気温であった。その場合のマハラノビスの距離とひび割れ幅の関係を示す図-2示す。図より、ひび割れなしを正常、ひび割れありを異常と判別される部材がある一方で、一部では、なしを異常、ありを正常と判別しているものがあり、この図からではマハラノビスの距離による判別の有効性が判断できない。そこで、医学分野において検査評価に用いられる医療統計の考え方をMT法に合わせて用いて、有効性を判断する。

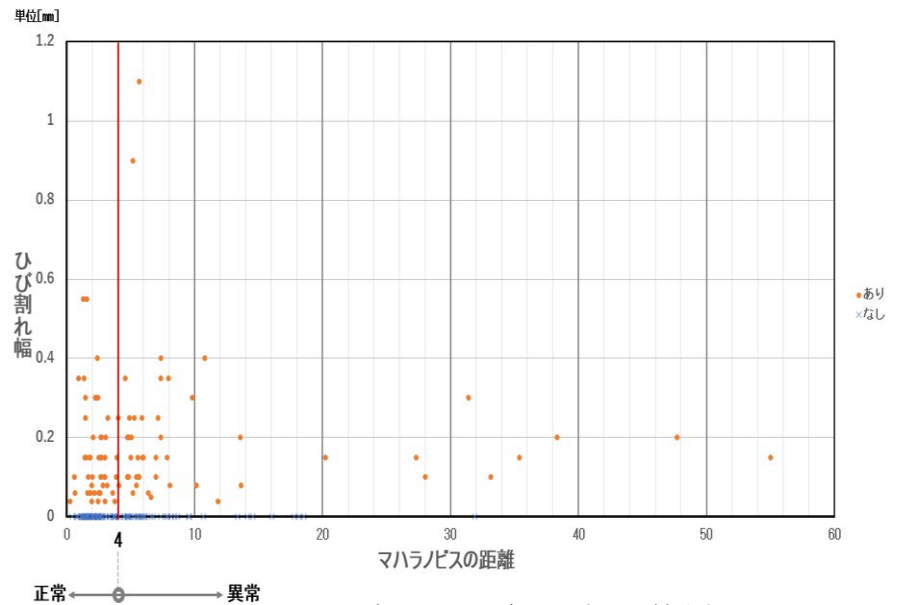


図-2 たて壁のマハラノビスの距離-ひび割れ幅

判別とひび割れ幅の関係を示すための分割表(表-1)、分割表からこのパターンの精度を示すために精度表(表-2)を示す。表-2により、異常的中率・正常的中率が50%以上であることから、あり・なしを50%以上の確率で判断できると考えられる。また、感度と特異度はトレードオフの関係にあり、感度が高いと偽異常が増え検査による時間・費用の増加し、一方で特異度が高いと偽正常が増えひび割れを見逃すリスクが増加する。そこで、感度と特異度を同時に評価するために尤度比が用いられる。異常尤度比は1より大きいほど異常であると判断でき、正常尤度比は0に近づくほど正常であると判断できる。尤度比值より、このパターンでMT法によるひび割れに対する異常・正常の判別が一定のレベルできていると考えられる。

表-1 分割表

(件数)	ひび割れ		計
	あり	なし	
異常	49	39	88
正常	48	73	121
計	97	112	209

表-2 精度表

感度	偽正常率	特異度	偽異常率
51%	49%	65%	35%
異常的中率	正常的中率	異常尤度比	正常尤度比
56%	60%	1.45	0.76

今後、さらに単位空間の変更およびしきい値の設定を変更させることにより更なる判別精度の向上を目指す予定である。

4. まとめ

- 1) 既往の研究やパラメーターのヒストグラムによる単位空間の定義によりマハラノビス距離による判定が改善され、分割表を用いて検証を行った結果異常的中率・正常的中率が50%以上となった。
- 2) 異常尤度比・正常尤度比の値より、厚さ、打ち継ぎ間隔、単位セメント量、スランプ、空気量、養生期間、L/H、最高温度-外気温のパラメーター組み合わせが有効であった。

参考文献

- 1) 山口県：コンクリート構造物の品質確保
<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18000/hibiware/hibiwareyokusei.html>, (閲覧 2022-1-18)
- 2) 細田暁：山口県のコンクリート施工記録の機械学習による分析, 土木学会コンクリート委員会, コンクリート構造物の品質確保委員会(第二期)委員会報告書, pp. 121-127 : 2020年
- 3) 田村希志臣:よくわかるMTシステム-品質工学によるパターン認識の新技术, 日本規格協会, pp. 9-119 : 2009年
- 4) 稲津貴和子, 田村 隆弘, 澤村修司 : 山口県のコンクリート工事に関するデータベースを用いたひび割れ幅に関する統計的評価, コンクリート工学年次論文集 Vo33 No. 1, pp. 1337-1342:2011年